

## Chapitre 2<sup>1</sup> : Les minéraux.

**Minéral** = substance non organique, solide, homogène, avec une composition et une structure atomique définie et généralement cristallin. (Les coquillages ne sont donc pas des minéraux car ils sont organiques et les minéraux fabriqués non plus car ils ne sont pas naturels)

Chaque espèce minérale possède des caractères propres : couleur, forme, dureté, ... qui permettent de les identifier.

### La chimie des minéraux :

- Pour un nombre de protons donné, on peut avoir divers isotopes.
- Un atome peut être neutre, positif (cation) ou négatif (anion).
- Les minéraux sont toujours solides.
- Les minéraux possèdent tous un champ de stabilité en fonction de P et T.
- Les minéraux sont instables à la surface à cause de l'altération (rouille par exemple)
- Les atomes peuvent former des liaisons ioniques, covalentes ou métalliques.
- Les solides peuvent être organiques / inorganiques, amorphes / cristallins.
- Structure atome. définie => composition chimique. définie. On a des tétraèdres, octaèdres et cubes.

**Cristal** : Solide convexe possédant une structure atomique ordonnée (arrangement tridimensionnel périodique) à « longue » distance (quelques milliers d'atomes au min. pour être un cristal)

**Clivage** : Fracturation selon un ou plusieurs systèmes de plans faisant des angles réguliers.

**Diffraction des rayons X** : permet de mettre en évidence la structure atomique.

### Propriétés physiques des minéraux :

1. **Forme** : Loi de la constance des angles dièdres. Les angles entre les faces sont constants.  
Symétrie et rotations (Miroir, point, triangle (120°), carré (90°), hexagonal (60°))
2. **Clivage** : Faiblesse dans la structure.
3. **Dureté** : résistance au poinçonnement ou à la rayure (échelle de Mohs)
4. **Densité**
5. **Couleur** (facile à observer mais une petite différence de structure peut changer la couleur)
6. **Eclat** : Manière de refléter la lumière (Métallique, Adamantin, Vitreux, Gras, ...)
7. **Magnétisme, fluorescence, ...**

### Les silicates :

- Groupe anioniques : Natif, Sulfure Oxyde, Chlorures, Carbonates, Sulfates, Silicates
- Mnémotechnique à 2.-* : **Nées Sur** un **Socle**, les **Cartes** de **Susie**
- Les types de silicates : Ortho, Soro, Ino, Cyclo, Phyllo, Tecto
- Mnémotechnique à 2.-* : L'**Orthographe** de « **Zorro** » **dans l'eau**, c'est un **cycle philosophico-tectonique**.
- Les silicates : chaque oxygène (4 en tout) est lié avec le silicium central :  $\text{SiO}_4^{4-}$ .
- Quartz : Tectosilicate,  $\text{SiO}_2$  Incolore, translucide, hexagonal.  
Dureté 7, Densité 2.65, grains souvent xénomorphes.
- Feldspaths : Tectosilicates incolore voire rosâtre, verdâtre, monocliniques (rectangle, parallélogramme)  
Mélange entre l'orthose, l'albite et l'anorthite  
Dureté 6, densité 2.55 à 2.75, grains xénomorphes.
- Olivines : Silicates ferromagnésiens orthorhombiques de couleur verte, dureté 6.5, densité 3.3
- Pyroxène : Silicate ferromagnésien vert sombre à noir avec 2 clivages à 90°. Dureté 5.5 à 6, densité 3.2 à 3.6
- Amphiboles : Silicate ferromagnésien blanc à vert clair avec 2 clivages à 60°. Dureté 5 à 6, Densité 3 à 3.6  
Cristaux prismatiques trapus jusqu'à allongés en aiguille.

### Autres minéraux :

- Calcite : Carbonate rhomboédrique  $\text{CaCO}_3$ , dureté 3, densité 2.7
- Magnétite : oxyde  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  noir octaédrique, dureté 6, densité 5
- Gypse : sulfate qui intervient dans la fabrication du plâtre. Dureté 2, densité 2.3
- Sel : Chlorure soluble. Dureté 2.5, densité 2.1
- Pyrite : Sulfure cubique à reflet métallique.  $\text{FeS}_2$ . Dureté 6.5 densité 5

## Chapitre 3 : Les roches magmatiques

<sup>1</sup> Le chapitre 1 correspond au cours d'introduction et n'est par conséquent pas résumé

Roche = Matériau constitutif de l'écorce terrestre, formé d'un assemblage de minéraux présentant une certaine homogénéité (cohérente, plastique, meuble).

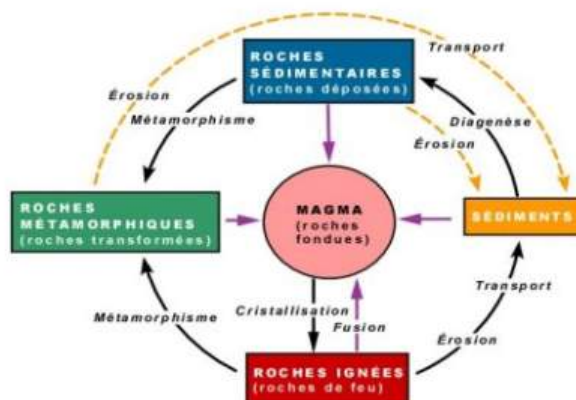
Texture = Taille, forme et disposition dans l'espace des constituants.

### Classification des roches :

1. Roches magmatiques résultant de la solidification magma.  
Deux types : volcanique (surface) et plutonique (profondeur). Croûte océanique.
2. Roches sédimentaires résultant de l'accumulation de particules en surface  
Formation par diagenèse (compression) ou cimentation. 90% de la surface. 10% du volume
3. Roches métamorphiques résultant de la transformation à l'état solide d'une roche préexistante  
Formation par enfouissement, transformation et exhumation. Croûte continentale.

### Cycle pétrogénétique

d'un



### Les roches magmatiques :

Magma = roche fondue provenant de la fusion partielle des roches de la croûte inférieure ou du manteau.

La plupart des magmas sont des mélanges Liquide + Solide + Gaz

### Roches volcaniques :

- Volcanisme, extrusif, lorsque le magma arrive à la surface.
- **Volcan** = édifice formé par l'arrivée de magma en surface. Il est composé d'une partie supérieure (cône, coulée, dôme, ...) d'un système d'alimentation (cheminée, filon, ...) et d'un réservoir (chambre magmatique)

### Origine :

- Roches volcaniques : Refroidissement très rapide, cristallisation incomplète, texture hyaline ou microcristalline
- Roches filoniennes : Profondeur intermédiaire, environnement froid et cassant, dans les failles (filon, dike)
- Roches plutoniques : Grandes profondeurs (>5km), environnement chaud et ductile, diapirisme.

### Propriétés :

- **Viscosité** : dépend de température, pression, état physique et teneur en SiO<sub>2</sub> (+ il y a du SiO<sub>2</sub>, + c'est visqueux)
- **Texture** : Vitreuse, Aphanitique, Grenue (Phanéritique), Porphyrique, Pyroclastique
- Classification selon la composition chimique, minéralogique et modale mais pas selon la texture.
- **Acidité** : + il y a du SiO<sub>2</sub>, + c'est acide (Du + au - : Rhyolite, Dacite, Andésite, Basalte)
- Ferromagnésiens : Falsiques (<50%), mafiques (>50%) et ultramafiques (>90%)
- Couleur (Il y a beaucoup d'exceptions comme les obsidiennes): Leucocrate, Mésocrate et Mélanocrate
  - o Claire = acide, falsique, + de quartz et feldspaths, Leucocrate
  - o Foncée : Basique, mafique, - de quartz et feldspath, Mélanocrates
- Saturation selon la proportion de silice par rapport aux feldspaths : Sous-saturées(<), saturées(=), sursaturées(>)
- Streckeisen :
  - o Grenues : Haut = Quartz (Granite), Gauche = Alcalins (Syénite), Droite = Plagioclases (Gabbro, Diorite)
  - o Aphanitiques : Haut =Acide (Rhyolite), Gauche = Alcalin (Trachyte), Droite = Basique (Basalte, Andésite)

### Roches pyroclastiques :

- Accumulation de particules provenant d'une explosion volcanique
- Exemples : Bombe (bloc), Lapilli, Cendre grossière, cendre fine
- Ecoulement pyroclastique : nuée ardente, mélange de gaz et particules qui descendent la pente (nuage qui descend)

## Chapitre 4 : Les roches magmatiques sur le terrain

- **Lahar** : Boue volcanique qui part en coulée (mélange eau + débris volcaniques)
- L'érosion d'un volcan est rapide (env. 1mio d'années)
- **Volcan Effusif** : Lave liquide, basalte, andésite, bon écoulement, pente faible, dure longtemps (jusqu'années)
- **Volcan extrusif** : Roche solide, dôme, très visqueux, andésite, dacite, + froid, dure plusieurs jours

- **Volcan explosif** : Projections, andésites, dacite, rhyolites (visqueux), très court (secondes à minutes)
- **Stratovolcan** : mixte entre écoulements et projections, pente forte, bouches latérales
- Deux types de magma : celui qui passe par petite quantité par les dike et sills et celui qui remonte par Diapir.
- Gradient de pression : **1kbar = 3km**
- Gradient de température : moyenne 30°C = 1 km (Lithosphère = conduction, asthénosphère = convection)
- **Xénolites** : Morceau de manteau expulsé par les volcans
- **Ophiolites** : Morceau de croûtes océaniques qui est remonté lors de l'orogénèse.
- Fusion partielle des lherzolites : Décompression adiabatique (sans perte de température) lors de la convection mantellique. Composition basaltique, puis ça se charge en olivine.
- Composition du liquide : Dépend des conditions P / T, de la nature des roches et du pourcentage de fusion.
- Cristallisation fractionnée : les minéraux se forment à des températures différentes lors du refroidissement.
- Différentiation magmatique : Assimilation de roches, mélange, séparation gravifique, immiscibilité.

## Chapitre 5 : Les roches métamorphiques

- Roche résultant de la transformation dans la croûte terrestre, à l'état solide, d'une roche préexistante.
- Conditions de Température : entre la surface (sédimentation, altération) et fusion (dès 600°C)
- Effet de la Température : + taille des grains, recristallisation, + réactions chimiques, barrières cinétiques franchies.
- Effet de la pression : (1kb = 3km) Pression litho statique dirigée qui déforme et aligne les cristaux.
- Champ de stabilité : Exemple : - Pression et + Température = Albite. + pression ou - Température => Jadelite + Quartz
- **Para genèse** : Assemblage de minéraux en équilibre (une seule stable). Equilibre **pression, Température et composition**.
- Haute (Schistes bleus, Eclogites), Basse (Cornéennes) et moyenne press. (Schistes verts, amphibolites, granulites)
- Origine magm. (ortho) : Péridotite (Ultramaf), Basalte et Gabbro (Maf), granite et rhyolite (Quartzo-feldspath.)
- Origine sédim. (para) : Graywacke (Maf), argile (pélit.), arkose (quar-feld.), sables (quartz), calcaire / dolomies (Ca)
- **Faciès** : domaines de P et T indépendants de la composition avec un nom selon la roche qui s'y trouve.
- Texture : Exprimée à différentes échelles, reflète l'histoire de la roche (grain fin, moyen, grossier)
- Classification selon : Para genèse (séq chim, faciès), Texture, Nature (Ortho, para, méta (ou poly))
- Schistosité : Contrasté, aplati, déformé, taille des grains, aplati dans matrice orientée, agrégats, fractures
- Exemples : Schistes verts et bleus, Gneiss, Marbre, migmatites, amphibolites, éclogites, ardoise, quartzite

### Types de métamorphisme :

- **Contact** : Contact entre pluton et roches encaissantes (augmentation de la température mais pas de la pression)
- **Océanique** : Eau de mer chauffée qui réagit avec la croûte océanique. Forte circulation de fluide (basse P)
- **Subduction** : Haute P, basse temp, déshydratation (Schiste bleu, éclogite)
- **Régional (Orogénique)** : Convergence, pression orientée, augmentation de la temp par épaissement de croûte.
- Dans les Alpes : 18 à 34 millions d'années. Rien au sud car il y a la faille insubrienne.

## Chapitre 6 : Sédimentologie

- **Sédimentologie** : Etude des dépôts actuels et passés
- Processus de sédimentologie : Erosion et transport, Dépôt, construction d'organismes, précipitation chimique
- Transformation : Par compaction, Cimentation ou transformation des minéraux.
- **Stratigraphie** : étude d'un affleurement en regardant l'évolution des sédiments (climat, biosphère, ...)

### Environnements sédimentaires : Dunes, plaine alluviale, Playa, Glacier, Rivière, Plage, Delta, Shelf, Coraux, ...

- **Glacier** : Erosion puis transport dans la plaine périglaciaire. L'arrondi des grains donne la distance de transport.

- Cône alluvial : A sec ou avec chenal qui transporte + loin. Sédiment grossier, peu triés et peu arrondis.
- Icebergs : Transport de sédiments par les icebergs sur de très grandes distances
- Lacs : Réservoirs à sédiments. Utiles pour l'histoire climatique et les forages.
- Rivières : **Tressée** (proximale, raide), **Méandre** (proximale – distale, plate), **Anastomosée** (distale, plate)
  - o Tressée : l'écoulement peut changer avec d'anciennes terrasses inondées
  - o Proximal = Sédiments peu arrondis car peu de voyage / Distal = Sédiments arrondi car + de voyage
  - o Oxbow Lake : méandre abandonné
- Deltas : 3 types : Dominés par la rivière (Mississippi), les marées (Ganges) ou les vagues (Sénégal)
- Tidal Flat : L'espace de dépôt est contrôlé par les marées. Les grains fins sont répartis par les marées.
- Estuaire : Mélange d'eau douce et salée quand la mer pénètre dans la terre. (Idéal pour les huîtres)
- Plage : Dominée par les vagues, dépôts avec haute énergie, sédiments bien arrondis.
- Barrière : Barrière d'île ou de coraux qui stoppent l'énergie de la haute mer => Lagunes
- Lagunes : Bassin protégé de la mer ouverte. Il y a de la végétation. Sédiments mal triés et perturbés par la faune.
- Sebkha : Bassin à forte salinité avec évaporation et précipitation d'évaporites.
- Salina : Bassin avec de l'eau où l'on précipite du sel et du gypse dans l'eau ou à la surface
- Playa : Bassin salé fermé qui provoque des précipitations lors de son évaporation
- Dépôts de désert : Rochers en surface après déflation, dunes en étoiles, barkhanes, ...
- Plateau : Plateforme (Barrière qui sépare de la mer ouverte), rampe (les courants remuent les sédiments)
- Coraux : Squelettes calcaires très sensibles aux changements climatiques (+ de tempêtes, eau trop chaude, ...)
- Pente sous-marine : dépôts par les organismes (planctons), les plateaux, Turbidité et glissements de terrain
- Bassin profond : dépôts de sédiments fins, OMZ (- d'O<sub>2</sub>), ACD et CCD, + froid et acide
- Facteurs de contrôle : tectonique des plaques (changement de climat, montée / descente des bassins, rift), climat (glace, eau, global – régional, montée des mers), océanographie, écologie (bioturbation, chaîne alim.)
- Les courants marins et atmosphériques (polaire, Farrell, Hadley) contrôlent la distribution des nutriments.

## Chapitre 7 : Roches sédimentaires

- **Diagenèse** : formation de la roche sédimentaire soit déjà formée (corail), soit cimenté, soit chim. Changée
- **Bio clastes** : Fragments d'organismes utiles pour la paléoécologie
- Les grains : infos sur l'origine, grains siliclastiques, enrobés (ooïdes, oncoïdes), péloïdes, litho clastes
- **Matrice** : Boue calcaire ou argileuse qui se forme à basse énergie sauf si elle vient après (ciment)
- Taille des grains (+petit au +grand) : Argile, boue (roche de boue), sable (grès), gravier (conglomérat)
- Compaction : chimique ou non. La porosité diminue avec la compaction.
- **Ciment** : matrice composée de carbonates, silicates (quartz, feld.), évaporites (gypse, sel) ou ferreux
- **Turbidités** : Roches formées par l'écoulement le long d'un talus continental sous-marin
- Structure :
  - o hydrodynamiques (Luminations, ondulations, dunes)
  - o Biogènes (Bioturbation, bio érosion, traces fossiles, luminations pas des microbes)
  - o Autres (fissures de sécheresse, tepees, cryoturbation, thixotropie (déformation en séd. Meuble))
- **Faciès** : Aspect d'une roche séd, composition, structure, couleur, chimie (Exemples : lacustre, marin, ...)
- Roches clastiques : Fragments de roches préexistantes, taille des grains (Brèche (pied des monts), Conglomérat (plage, rivière), grès (rivière, plage, delta), limon (plaine fluv.), argile (plaine fluv. Rivière plate), Diakité.)
- Roches organiques : Faites par les organismes, composition chim. Dominante (calcaire (Fonds marins), marnes (lagons, lacs), silicates (radiolarites (fonds marins)), phosphates, charbon, pétrole)
- Roches chimiques : Précipitation chimique (Dolomite, évaporites (paya, sebkha, salina), silex, croûtes de fer et manganèse, croûte calcaire, travertin, tuf, stalactites, stalagmites).

## Chapitre 8 : Stratigraphie

- Discipline qui étudie et interprète l'ordre des couches
- Principes :
  - o La couche la + vieille est en dessous (exception si renversement, remplissage de karst ou sils)
  - o Les frontières se forment car la roche ou les conditions de dépôts changent
  - o Hiatus : interruption dans la sédimentation. Les hiatus sont fréquents.
  - o Il faut des analyses sédimentologiques, paléontologiques et géochimiques pour dater les couches
- Litho stratigraphie : Analyse de la lithologie (faciès) et interprétation des zones de déposition
- Stratigraphie séquentielle : Analyse des séquences de déposition (développement du faciès au cours du temps)
- Iso chromes (limite entre les séquences) et Dichromes (limite entre les formations)
- Datation relative : Bio stratigraphie (évolution), Chimio stratigraphie (O16 et O18), magnéto stratigraphie,
- Datation absolue : Géochronologie (radioactivité), cyclo stratigraphie (Milankovitch)

- Exemple d'évol. du climat : + de magma => mer + haute et + de CO<sub>2</sub> => + effet de serre => +foram. =>+déchets

## Chapitre 9 : Processus et systèmes

- Endogène vs Exogène
- Troposphère, stratosphère, mésosphère, thermosphère, exosphère.
- Processus terrestres : de surface (érosion, sédimentation), chimiques, biogènes
- Systèmes géologiques : érosion, altération, tectonique, pente, fluviatile, hydro/glaciaire, côtier, éolien
- Magnétisme, influence extraterrestre, cyclicité, marées, climatologie, ...

## Chapitre 10 : Structure du globe

- Failles : Normale (extension), inverse (compression), décrochant (coulissage)
- Ondes : Primaire (P, horizontal), Secondaire (S, vertical), Love et Rayleigh (surface)
- Loi de Snell : Courbure d'ondes sismiques selon la densité.
- Vitesse : + rapide dans les océans (Basalte et gabbro denses) et + lent sur le continent (gneiss ou granite)
- Tomographie : Coupe de température de la terre
- Limite de Lehmann : Limite où les ondes ne se propagent plus
- Les ondes S n'entrent pas dans le noyau alors que les ondes P oui mais sont fortement déviées

### Coupe de la terre :

- 0 km = surface. 7km = Croûte océanique. 30km = croûte continentale (max80). **Moho** = limite croûte – Manteau
- 70-150 km : Low Velocity Zone: Début de LVZ ≈ Limite entre lithosphère et asthénosphère (densité = 3.3)
- 400 km : Début de la zone de transition (On passe de l'olivine au spinelle) (densité augmente)
- 660-700 km : Transition manteau sup et inf. (Passe du spinelle à la pérovskite à 660 km) (limite de convection)
- 2600-2700 km : Couche D'' discontinuité sismique par les slabs qui ralentit les ondes, base des plumes
- 2700-2885 km : Limite de Gutenberg entre le manteau et le noyau (densité de 5.5 avant et 9.5 après)
- 5155 km : Limite de Lehmann : Entre le noyau externe (fer, nickel, soufre, oxygène) et interne (fer, nickel)

## Chapitre 11 : Mobilité horizontale (Marges)

- Marge convergente, divergente ou transformant. Elles coupent entièrement la lithosphère (échelle env. 100km)
- Faille : coupure à petite échelle (en mètres voire km) : Extension, compression, décrochement
- La distance entre les volcans et la zone de subduction nous donnent une idée de l'inclinaison de la plaque
- Prisme d'accrétion : Quand la plaque glisse sous l'autre, elles s'arrachent mutuellement de la matière.
- La faille de San Andreas est une faille décrochant et une faille transformant en même temps.

Cf. Chapitre 23 : tectonique pour la suite

## Chapitre 12 : Mobilité horizontale (Tectonique)

- Wegener : Dérive des continents. Preuves :
  - o Evolution + ou – symétrique de chaque côté des rifts.
  - o Anomalie magnétique (on peut voir les inversions des pôles dans les fonds marins)
  - o Bathymétrie : Cartographie des fonds avec des sous-marins
  - o Plan de Bénioff : Alignement des tremblements de terre dans les fosses
  - o Hot spots : Les points chauds ne se déplacent pas mais c'est la plaque au dessus qui bouge.
  - o Limites de plaques : Chevauchement, écartement et glissement
- Rift : on tire sur les bords, ce qui amincit le centre jusqu'à la cassure et le magma monte (90% des cas)
- Marge passive : marge inactive qui reste sur le continent après la création du nouvel océan
- Faille listrique : faille en cuillère avec des sédiments qui tombent à l'intérieur => blocs basculés
- L'amincissement fait monter l'asthénosphère et comme elle est chaude, elle soulève la surface.
- Mer rouge : stage post-formation de rift. Prochain étape : l'océan
- Ride : Bombement sans fossé (contrairement au rift)
- Smokers : Roches fumantes (200-300°C) que les animaux des profondeurs utilisent

### Chapitre 13 : Paléontologie

- Comment devenir un bon fossile :
  - o **Pro : enfouissement rapide** (recouvert par des sédiments ou par l'eau), **pas d'oxygène** (oxydant très puissant), **minéralisation rapide** (l'eau doit amener des minéraux pour recouvrir les pores).
  - o **Contre :** agents destructeurs biol (prédateurs, bactéries), physique (vague, transport), chimique (acide)
- Types de préservation : Glace, ambre, Calcite et aragonite, silice, phosphate de Ca, remplacé. par autres minéraux
- Fossile stratigraphique : Fossile permettant de dater un affleurement. Caractéristiques :
  - o Evolution rapide, fréquent, facile à différencier, large répartition stratigraphique
- Fossile de faciès : Fossile permettant de caractériser l'écologie, le milieu de l'époque. Caractéristiques :
  - o Extension géographique limitée, milieux (continental, marin, lacustre, T, Prof, ...). Exemples : Bivalves
- Benthos : Animaux qui vivent sur le fond de la mer ou d'un lac. Ils peuvent vivre sur le fond ou dans le sable.
- Necton : Animaux qui peuvent nager et se déplacer à contre-courant
- Plancton : Animaux qui se contentent de flotter car ils sont trop petits pour lutter contre les courants
- Méthodes de fouilles : fouilles verticales ou horizontale
- Morphologie des fossiles : Echantillonnage, préparation, observation, figuration, conservation
- But de la paléontologie : datation sur le terrain, reconstitution des paléoclimats, Paléo-biodiversité, évolution

Pas de chapitre 14

### Chapitre 15 : Datation

- Temps géol. : Usher (17, biblique), Cuvier (19, Catastrophisme, Uniformitarisme), Hutton (18), Darwin (19)
- Ages relatifs : Succession d'événements :
  - o Superposition : Ce qui est en dessous est plus vieux que le dessus (exceptions si plis ou déformations)
  - o Recoupement : Ce qui est recoupé est plus vieux que ce qui recoupe
  - o Déformation : Ce qui est déformé est plus vieux que la déformation
  - o Inclusion : Ce qui est à l'intérieur est plus vieux que ce qu'il y a autour.
- **Litho stratigraphie** : On peut voir la succession de dépôts, érosions et aussi orogénèse et effondrement
  - o **Chron. relative**, la durée des évén. est inconnue et inégale entre deux couches, et locale
  - o Varves : Sédiments lacustres périglaciaires annuels constitués de deux couches dif. (été et hiver)
  - o Corrélations : des erreurs peuvent se faufiler, longue dist : téphras (dépôts de cendres), astéroïdes
- **Bio stratigraphie** : **Chronologie relative** des formes de vies fossiles (locale ou globale dans les océans)
- **Chronologie absolue** : mesurable, (Radioactivité)
  - o Datations directe : K-Ar (Minéraux riches en K), U-Th (U très soluble, Th DS les argiles), C (5730ans), Al
  - o Datation indirecte : Traces de fission, luminescence (Paléo dose : Energie cumulée)
  - o Proxis : Phénomènes qui varient au cours du temps (pôle magnétique, Milankovitch, salinité, niv. mer)
  - o Magnéto stratigraphie : Précise < 5mio voire 200 mio. Limite à 600mio (variations régionales des pôles)

### Chapitre 16 : Cycles

- La terre : Activité interne (magmatisme, tectonique) et externe (sédimentation, bio/hydro/atmosphère)
- Energie : Matière (quasi pas de changement), énergie (internes + externes)

#### Cycle de l'eau :

- Transferts: Evaporation ( $4.2 \cdot 10^8$  km<sup>3</sup> Oc et 0.8 cont), précipitation (3.8 Oc et 1.2 cont), courants (équilibre sel)
- Réservoirs : Glaciers (280, 2%), atmosphère, (0.1), Océan (13'500, 97%), minéraux, croûte, manteau
- Fractionnement isotopique : Paléo thermomètre, O16 vs O18, lien entre temp. et teneur en O18.
- L'eau : 1<sup>er</sup> agent d'érosion et de transport (influences superficielles), Spilitisation (métamorphisme sous-marin)

#### Cycle du carbone :

- Où : Atmosphère (CO<sub>2</sub>), Océan (HCO<sub>3</sub>), roches carbonatées (CO<sub>3</sub>), Biomasse, fossile, pétrole, charbon, ...
  - o Biomasse : Absorption (Photosynthèse) et libération (respiration, fermentation, combustion) (700 E9 t)
  - o Roches : Abs. (Piégeage dans les sédim.) et lib. (dégazage du manteau, métamorph.) (60'000'000 E9 t)
  - o Océan : Absorption (Mise en solution dissolution) et libération (précipitation) ( $40'000 \cdot 10^9$  tonnes)
- Effet de serre : -18°C sans, +15°C avec. ( $750 \cdot 10^9$  tonnes)
- Atmosphère : Dégazage de géosphère (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O / 4.4-3.8 mia), Condensation, formation O<sub>2</sub> (3.8 et 2.7mia)
  - o Cycle photosynthèse : très court, important en temps cumulé, formation de matière organique
  - o Cycle des carbonates : Long avec des volumes très importants, précipitation et métamorphisme
  - o Cycle du dégazage : Faible actuellement, important lors de la formation de la terre.
  - o Cycle de l'azote, du phosphore et du soufre.



**Cycles géochimiques :**

- Comportement d'une substance (atome, isotope, molécule, minéral, ...) au cours d'un cycle pétro génétique
- Analyse du cycle de vie : 1. Objectifs / 2. Inventaire / 3. Evaluation de l'impact / 4. Interprétation
- Propriétés déterminantes : 1. Abondance / 2. Géométrie / 3. Chimie (valence, électronégativité, ...)

**Chapitre 17 : Evaporites**

- Roches résultant de l'évaporation de l'eau salée (Halite, Sylvite (engrais), Anhydrite, Gypse (plâtre), Calcite)
- Elles sont imperméables (piégeage du pétrole), indicateurs climatiques et ductiles (utile pour l'orogénèse)
- Solubilité (+soluble au – soluble) : Sylvite, halite, gypse, Aragonite, Calcite. (– soluble = +Siliceux = + profond)
- Milieu continental : Pas d'exutoire vers la mer. Apport du sel par les rivières, évaporation puis précipitation
- Milieu marin : Apport marin périodique (sels dissouts) et continental détritique
- % sel dans l'océan : Apports des rivières faibles et compensés par la précipitation.
- Les océans : masse invariante, apport des rivières fixe, perte de sodium, eau déjà salée à l'origine.
- Production de sel des marais salants : évaporation contrôlée de l'eau de mer (climat sec et accès à la mer)
- Crise du Messénien : Evaporation supposée de la méditerranée (confirmée par des canyons de grand fleuves)
- Niveau de décollement : niveau de formation de sel qui permet aux couches supérieures de bouger et glisser
- Diapirisme : Remontée par déformation plastique en raison du contraste de densités
- Pétrole : Le sel remue les roches en remontant ce qui favorise la formation du pétrole et imperméabilise la roche
- Souffre : Vient des volcans, se précipite quand l'eau s'évapore, forme des sulfates
- Minerais de fer rubanés : on en trouve dissous dans les océans (réaction avec O<sub>2</sub>, volcans)
- Facteurs de production des évaporites : Température, présence d'autres sels (effet d'ions communs)

**Chapitre 18 : Combustibles fossiles**

- Energies : renouvelables (éolien, géothermie, biogaz), nucléaire (uranium), fossiles (charbon, pétrole, gaz)
- Charbon : Accumulation de matière organique d'origine végétale peu oxygénée (lagune, delta, marais) (10<sup>12</sup> t)
  - o Formation : Activité bactérienne (surface), + P et T, Pyrolyse (Perte de CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O puis Cx Hy)
  - o Types de charbon (+ récent au + vieux) : Tourbe (pas encore charbon), Lignite, Houille, Anthracite
  - o Origine sédimentaire : Stratifié, contenu fossile, environnement (marais, climat tempéré)
  - o Constituants : Liptinite, Vitritine, Inertinite, Cendre
- Souffre : naturel. présent dans les charbons, s'échappe lors de la combust. réagit avec l'eau => acide sulfurique
- Pétrole : même formation que le charbon au départ (milieu planctonique), puis migration dans les roches poreuses (sable, grès) et piégeage (argiles, sel). Processus total d'environ 1mio à 1mia d'années.
  - o Raffinage, pétrole non-conventionnel (bitumes), écologie (effet de serre, marées noires, plastique, ...)

**Chapitre 19 : Altération**

- Altération : Transformation des roches par des processus physiques, chimiques et/ou biologiques en surface par interaction avec l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère car la pression est faible et il peut y avoir de l'eau
- Diamant : besoin d'une énergie d'activation pour la transformation en graphite.
- Fragmentation (physique) : Effet du gel / dégel, décompression (baisse de T => expansion)
- Dissolution (chimique) : L'eau dissout presque tout, surtout si elle est acide (doline, aven, résurgence, ...)
- Hydrolyse des silicates (chimique) : Plagioclase + acide carb. + eau -> argile (Na dissout dans océan, K absorbé)
- eH (potentiel redox) / pH : le pH et eH sont liés aux types de roche qu'on trouve.
- Argiles (granulo.) : (Argile -> argilite, limon -> slitite) -> Schistes, (sable -> grès, gravier -> conglom.) -> Gneiss
- Argiles (minéralo.) : Phyllosilicates hydratés contenant Si, Al, K, Mg, Fe, ... (Kaolinite, Glauconite, Chlorite, ...)
- Redox : Le fer joue un rôle important car 5% de la croûte (Gossan : zone d'oxydation Fe sur un filon S-Fe)
- Stabilité (- stable au + stable) : Olivine, pyroxène, amphibole, biotite, Quartz, argiles
- Conditions d'altér. chim. : contenu minéral, texture (porosité, perméab.), climat (chaud, humide, végét.), temps
- Conditions d'altér. phys. : mécanique (expansion / contraction), eau (gel+transport), vent, climat (froid et sec)
- Altération biologique : Plantes (racines) et animaux (terriers+lombrics, micro-organismes)

**Pédogenèse (formation des sols) :**

- Sol = formation naturelle de surface à structure meuble venant de la roche mère avec influence phys, chim et bio
- Subdivision : Sol superficiel, Horizon A (organique), B (matériaux insolubles) et C (roche mère démantelée)
- Climat : Zonation thermique (péripolaire), hydrique (péridésert), intrazonaux (substratum), azonaux (peu évol)
- Facteurs influençant : Type de substratum, temps, topographie, climat,
- Théorie de la bio-rhexistase : Période climatique instable -> couverture végétale détruite -> érosion -> dépôts
- La végétation : action de la végétation sur l'eau, le carbone, l'azote (fixation) et les sels minéraux

- Agriculture : Apport d'engrais (fumure) nécessaire pour refaire le stock de nutriment pour les plantes
- Apport de sels minéraux complémentaires (chaux, phosphates, ...)
- Sols latéritiques tropicaux (sol rouge très profond) : Ferralite, bauxite (Exemple : Sidérolithique du Jura)

## Chapitre 20 : Minerais métalliques

- Ress minérales : Eau, sols, énergie (charbon), métaux (or, fer), non mét (brique, béton (ciment+agrégat), verre)
- Minerais (notion variable): Roches naturelles avec substance utile, exploitable, non-renouvelable.
- Formation : anomalies géologiques. Il faut : Réservoir (montagne), transport (rivière), piège (perte de puissance)
- Placers : Gisements sédimentaires fluviatiles (or, magnétite, diamant) (minéralisation en veine ou filon)
- Chaîne opératoire : Prospection, extraction, préparation, métallurgie, mise en forme
- Mine : zone d'extraction, accès, stockage, ateliers, ... . Tunnel : toit = au-dessus Epontes = murs, Mur=dessous
- Extraction : Minerai = minéraux non utilisables (gangue) + utilisables, roche encaissante = roche autour
- Préparation : concassage, flottation (huile de pin), lavage, lixiviation (exposition extérieure)
- Métallurgie : Primaire (Séparation, métall. thermique, électrochimique), secondaire (purification, mise en forme)
- Lieu : Veines hydrothermales (Or, Cuivre, Plomb, Etain), autre (argent, zinc, fer, alu)

## Chapitre 21 : Les volcans

- Répartition : plaques divergentes, convergentes et intra-plaque.
- Neck : Partie centrale du volcan qui reste après érosion du cône autour
- Types de volcans : Gris (Explosif, visqueux, dégazage violent, raide) et rouge (effusif, coulées, pente douce)
- Hawaï : volcans boucliers, basalte, dégazage et écoulement facile, durée d'un million d'années
  - o Atoll de corail : Erosion du volcan, « déplacement » dans la mer (subsidence) pas trop rapide
- Plume mantellique : Origine à la couche D'' (3000km). Montée par diapirisme => hot spots.
- Flood Basalts (plateau basaltique): immense étendues formées en peu de temps.
- Irlande : Mélange de plume mantellique, formation d'un plateau basaltique et d'un rift.
- Subduction : magma + riche en silice (andésite-rhyolithes). 1. Déshydratation 2-3. Différenciation 4. Explosif
- Mount St-Helens : Explosion du dôme avec onde de choc (dégazage brutal)
- Ecoulements pyroclastiques : Coulée de débris et cendres boueux (Lahar) venant du volcan
- Sols volcaniques : altération rapide des cendres en argiles => sels minéraux => bien pour l'agriculture

## Chapitre 22 : Mobilité verticale

- Géoïde : La terre n'est pas totalement ronde, c'est un géoïde avec des anomalies (100m à certains endroits)
- Correction isostatique : Somme de la correction de l'effet de masse. Anomalie = diff entre mesuré et corrigé
- Racine de montagnes : Racine = 9x l'altitude moyenne. (Alpes : 2km + 9\*2km de racine + 30km croûte = 50km)
- Isostasie : Etat d'équilibre stable comme un iceberg ac même pression de charge à profondeur de compensation
  - o Modèle de Airy : Les variations d'altitude sont compensées verticalement (racine)
  - o Modèle de Pratt : Variation latérale de densité des roches (faible au centre, élevée alentours)
  - o Influence de l'altitude : l'isostasie provoque des montées / descentes selon la compensation (rides)
- Flexuration élastique : Lorsqu'un plaque se plie (ex : subduction), cela crée un bombement + ou - élevé.
- Eustatisme : fonte des glaces des continents qui rajoute de l'eau dans les océans.
- Autres facteurs verticaux : Marées, Milankovitch, plissements, orogénèse, graben, plumes, hotspot

## Chapitre 23 : Tectonique

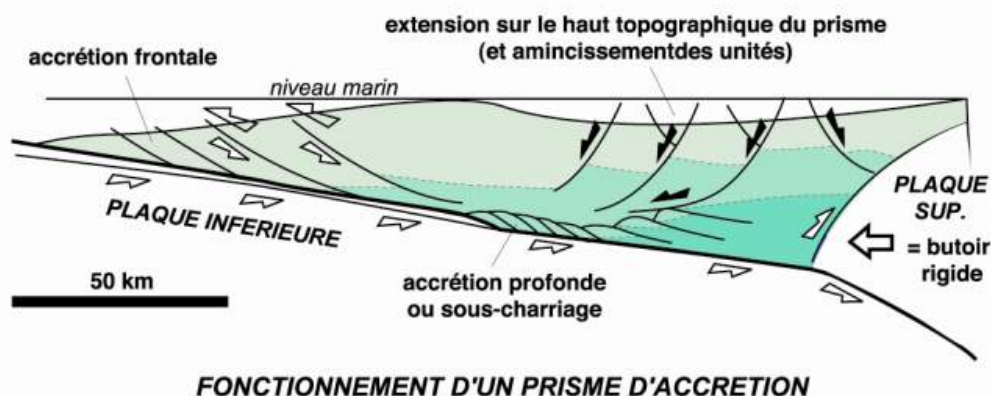
- Déformation : changement de forme, orientation, volume par contraintes diverses (magma, convergence, ...)
  - o Élastique (rapide et réversible), cassante (rapide et irréversible), ductile / plastique (lent et irréversible)
- Rhéologie : Ensemble des propriétés d'une roche par rapport à sa déformation
  - o Compétant vs Incompétent, Cassant vs Visqueux (ductile), Linéaire vs Exponentielle,  $\text{déf} = f(\text{temps}, T, P)$
  - o Joints et diaclases : fissures sans déplacement / Failles : fissures avec déplacement des côtés
  - o Déformation cassante : ancienne gouille remplie de limon qui a séché et s'est contracté puis cassé
- Failles : Faille inverse (ce qui sort = toit, dessous = mur), décrochante (dextre (sens horaire) et sénestre)
  - o **Faille listrique** : faille arrondie en bas. **Faille conjuguée** : faille dans l'autre sens
  - o Faille transcurrente : Failles à orientations diff avec le même sens de mouv (décrochement diffus)
  - o Transformante (deux rifts avec création en dir. de l'autre) ≠ décrochante. (glissement)
- Pli : Types de plis : Monoclinal, anticlinal, synclinal, anti / synclinal renversé



- Pli ouvert, fermé, serré, isoclinal, droit, déversé, renversé, couché, plongeant, disharmonique
- Diapirs de sel : accumulation de sel qui forme des coussins, puis des bulles (jusqu'à taille des Alpes)
- Chevauchements : Translation de matériel pour les déposer ailleurs.
  - Eléments : Allochtone, autochtone, windows, klippe tectoniques (préalpes), thrust sheet (cf. images)
  - Géométrie de base : Décollement inférieur et supérieur, pli de rampe, chevauchement sommital / basal
  - Thin skinned / Thick skinned : Socle non déformé et plat. (Ex: celle qui permet au-dessus de bien glisser)

## Chapitre 24 : Orogenèse

- Orogenèse : étude de la naissance des montagnes (env. 5mio d'années), l'érosion et la disparition des reliefs
- Moteur : tectonique des plaques et marges actives, collision continentale sur limite convergente, ...
- Suture : relique d'un ancien océan pour comprendre « l'avant collision »
- Scénarios : 1. Deux planchers océaniques, 2. Plancher océanique vs continent, 3. Continent vs continent
- Edifices orogéniques : accréation / chaîne andine de subduc / 2continents / subd cont / chaîne intra-cont
  - 1. Continent actif / 2. Cont passif / 3. Arrière arc / 4. Avant arc (1vs1, 1vs2, 1vs3, 1vs4, 2vs4, 3vs4, 4vs4)
- Ophiolite : Partie du plancher océanique qui est à l'air maintenant
- Obduction : Ophiolite qui est allochtone dans un chevauchement (le plafond habituel est à la base)
- Prisme d'accréation : tjs une forme triangulaire car compensation de pente lors d'apports de nouveaux sédiments
  - Failles normales et érosion pour compenser la pente malgré la compression (cf. schéma du prisme ↓)
- Prisme orogénique : Se forme à l'air et non dans l'eau (prisme d'accréation). Accréation par en dessous.
- Molasse : Grès, mais aussi marnes et argiles transportés par les rivières depuis les montagnes.
- Chaîne de montagne : double prisme orogénique (La base du prisme est la racine de la montagne)
- Exhumation : Le slab (extrémité de la plaque qui subducte) se casse => réaction de soulèvement orogénique
- Cycle de Wilson (théorie incertaine) : La chaîne s'étale après exhumation => graben => océan => ça recommence
- Friction : De l'eau chauffée soulève le prisme et réduit ainsi le frottement. Le prisme peut ainsi glisser
- A retenir : Montagne formées dans zones de convergence. Prisme d'accréation => orogénique (qu'une partie de la chaîne de montagne car il y a encore la partie arrière)
- Métamorphisme : Prograde (croissant) et rétrograde (décroissant)



## Chapitre 25 : Séismes

- Location : Zone de subduction (les + forts et profonds), marges divergentes et faille décrochante
- Contexte : Croûte mise sous contrainte. Cassure qui se propage depuis l'hypocentre.
- Ondes : Compression (P), Cisaillement (S), Love et Rayleigh.
- Intensité : Echelle de Mercalli : subjective, basée sur l'étendue des dégâts (1 à 12). Echelle de Richter (magnitude)
- Subduction : Même en profondeur car la lithosphère est rigide jusqu'à très profond
  - Étirement à la surface par flexuration, puis compression et finalement étirement et compression au slab
- Himalaya : Convergence et failles décrochantes qui fait sortir de la matière à l'est
- Fribourg : Les séismes futurs seront moins forts que prévu car il y a pleins de petites failles et non une grande.
- Sismicité induite par l'homme : Barrages, géothermie, exploitation pétrolière, mines

## Chapitre 26 : Géologie de la Suisse

- Composition : Jura (Calcaires), Plateau molassique (grès), préalpes, alpes helvétiques, internes, plaine du Po

- Paléogéographie : Paratéthys avec îles pour les dinos, marge passive et ride entre Europe et Italie
- Plaques : Plaque européenne, Briançonnais (entre bassin valaisan et Thétys) et Italie
- Molasse : ensemble des sédiments déposés par les Alpes (argiles, grès, calcaire).
- Jura : Formation grâce au décollement d'évaporites.
- Préalpes : klippe tectonique (reste d'allochtone avec érosion tout autour)
- Pennique : On a retrouvé des laves en coussin qui ont été soulevées de 7000m (-4000m à 3000m)
- Dolomites : Même géométrie que le Jura avec des carbonates à la place du calcaire
- Thétys alpine : Tentative sans succès de l'Atlantique de se prolonger entre l'Europe et l'Afrique
- Formation : - 60mio d'années. Le granite de l'Europe est trop léger pour subduire sous l'Italie => collision.